

大型陶製品製造工程の効率化研究

西尾 俊哉*
NISHIO Toshiya

要旨 信楽焼産地における陶製浴槽等の大型陶製品製造は、その寸法および肉厚に起因する乾燥・焼成時の収縮と亀裂を抑制するため、長時間にわたる工程を要する。一方、陶磁器産業界では、省エネルギー化、二酸化炭素排出量抑制等の環境負荷低減が喫緊の課題となっている。そのため、製造工程の抜本的な見直しと原料選定の最適化が不可欠である。本研究では、窯業系リサイクル原料の活用、効率的な乾燥・焼成による製造時間短縮の可能性を検討するとともに、大型製品の試作を通してその有効性を検証した。

1 はじめに

滋賀県信楽は、陶器の主要産地として知られ、大型陶器製品は地域を代表する特産品である。古琵琶湖層から産出される珪石や長石を含む良質な蛙目粘土を産地に擁する信楽では、古くから壺や甕等の生産が盛んであった。日本の中世には、常滑から大型ロクロ技術が伝来し、現在の大型陶器製造技術の基礎が確立されたとされている。

かつては一尺程度のものが大型とされていたが、時代とともに製品は大型化し、製造時間およびコストが増大した。現在では、直径1mを超える浴槽等の巨大な陶器製品も製造されている。

陶器は、成形、乾燥、焼成の工程を経て完成するが、乾燥、焼成の工程において収縮が発生する。収縮は、水分蒸発や熱変質に起因するものであり、大型製品ではその影響が顕著となる。そのため、大型陶器の製造においては、各工程を慎重かつ時間をかけて行う必要があり、設備活用と熟練した技術が求められる。

本研究では、乾燥および焼成工程における時間短縮を目的とする。これらの工程の効率化は、時間的および経済的観点から極めて有用であると考えられる。

2 乾燥時間の短縮化

2.1 収縮による亀裂

粘土の収縮過程は、主に乾燥時と焼成時の二つに大別される。乾燥時には、粘土に含まれる水分が蒸発する過程で収縮が発生する。この際、乾燥速度の不均一性、特に中心部における乾燥遅延は、部分的な亀裂を引き起こす要因となる。乾燥速度に大きな差が生じると、乾燥収縮の差異から応力が発生し、亀裂に繋がる。

この問題への対策として、乾燥しやすい部位を布やビニール等で覆い、乾燥速度を抑制する方法が一般的に用いられる。この方法により、部分的な乾燥を防ぎ、全体の乾燥速度を均一化することが可能となる。しかしながら、この方法は乾燥均一化と引き換えに乾燥時間を延長させるため、製造時間増加の要因となる。

2.2 乾燥方法の改良

乾燥時間短縮のための有効な手段として、人工的な加熱が挙げられる。しかしながら、急速な加熱は乾燥ムラによる亀裂発生リスクを高める。そこで、本研究では、乾燥対象製品の周囲を半密閉容器で囲い、容器内に水蒸気を保持した状態で加熱を行う方法を検討した。この方法は、製品から蒸発する水分を利用して容器内を加湿状態に保ち、蒸し風呂のような環境下で加熱を行うものである。これにより、乾燥ムラを抑制しつつ、加熱による乾燥促進効果が期待できると考え、実験的検証を行った。

2.3 試験方法

直径280 mm、底厚30 mmの器状試験体をロクロ成形により3個作製し、それぞれ試験体A、B、Cとした。各試験体を2日間自然乾燥後、試験体Aを段ボール箱に収納し、乾燥機(WFO-700 EYELA 東京理化工学株式会社)を用いて110℃で乾燥を行った。比較のため、同様の手順で製作した試験体Bを箱に収納せずに同温度の乾燥機で乾燥を行った。また、試験体Cは自然乾燥を行い、日ごとに重量を測定し、重量変化が認められなくなった時点を乾燥完了とした。各試験体の乾燥過程における重量変化を比較検討した。

さらに、同様の試験を寸法D600 mm × W600 mm × H50 mm、厚さ30 mmの陶製テーブル天板においても実施した。大型試験体の乾燥となるため、大型ガス窯(丸二陶料株式会社 OGS-40型)を用いて乾燥を行った。



図1 テーブル天板乾燥風景

2.4 試験結果

試験体AおよびBの器状試験体は、乾燥機投入後に急激な重量減少を示したが、その後は徐々に変化が減少し、3日目以降は重量変化が認められなくなった(図3)。これらの結果から、両試験体は2日間で乾燥が完了したと考えられる。しかしながら、直接乾燥機に投入した試験体Aには顕著な亀裂が発生し、破損に至った。一方、段ボール箱に収納した試験体Bは、問題なく乾燥が完了した(図2)。室内(平均気温24℃、湿度60%)で自然乾燥を行った試験体Cは、乾燥に約11日間を要した。

同様に、陶製テーブル天板においても、自然乾燥では約1ヶ月半(10月実施)を要したが、強制乾燥では4日間で乾燥が完了した。窯内で強制乾燥を行った場合も、段ボール箱に収納した試験体は問題なく乾燥したが、直接乾燥させた試験体には側面に顕著な亀裂が確認された(4)。



図2 乾燥試験後写真(試験品A左、試験品B右)

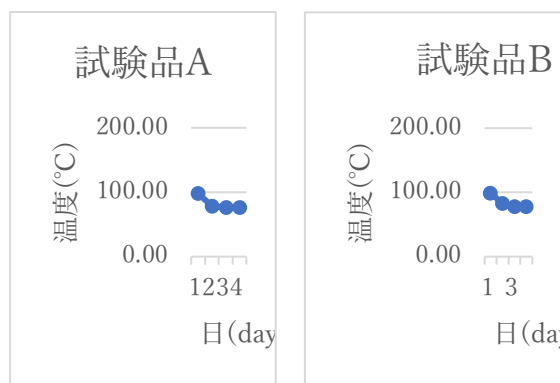


図3 試験品ABにおける重量の推移



図4 天板の側面部の亀裂

3 焼成時間の短縮

3.1 低温焼結について

陶器の焼成においては、収縮が伴うため、大型陶器製品ほど時間をかけて焼成し、焼成中の収縮速度を緩やかにする必要がある。そのため、焼成時間が長期化し、陶器製浴槽等の大型製品では、巨大な窯と多数のバーナーが必要となり、燃料消費量が膨大となる。焼成時間の短縮は、環境負荷低減のみならず、経済的にも極めて有用な技術であると考えられる。

本研究では、素地の低温焼結化を目標とする。焼結温度を低下させることで、焼成時間短縮および燃料消費量削減が可能になると考えられる。

3.2 低温焼結用素地の調合

低温焼結化を目的として、ホウ素を含まないソーダ石灰ガラスを添加剤として用いた。信楽地域において大型陶器用素地として一般的に使用されているロット土を基準素地とし、表2に示す配合組成で試験体を作製した。ソーダ灰ガラスの融点は約1000℃であるため、焼成試験は1000℃および1100℃の温度条件で実施した。比較対象として、ロット土のみからなる基準素地を、一般的な大型陶器製品の焼成温度である1210℃で焼成し、収縮率、吸水率、曲げ強度を測定した。

3.3 試験方法

表1に示す配合組成に基づき、素地とガラス粉を混合した。混合時の水分量は約24%とし、金型を用いたプレス成形により、寸法D100 mm × W13 mm × H5 mmのテストピースを作製し、自然乾燥させた。その後、電気炉(前扉式電気炉YK-15B型)を用いて1000℃および1100℃で焼成したテストピースをそれぞれ作製し、各テストピースの収縮率、吸水率、曲げ強度を測定した。これらの測定結果を、基準素地であるロット土の測定結果と比較検討した。

表1 素地調合比

	1	2	3	4	5
ロット土	100	90	80	70	60
ガラス粉		10	20	30	40

3.4 試験結果

表2に示す結果から、ガラス粉を30%以上添加し、1100℃で焼成した試験体は、基準素地であるロット土と同等またはそれ以上の物性値を示すことが確認された。しかしながら、実用化に向けては、製造工程における成形性や加工性の検証、および焼成温度に適合する釉薬の開発など、解決すべき課題が残されている。

表2 試験結果

	焼成温度 (°C)	収縮率 (%)	吸水率 (%)	曲げ強度 (MPa)
1	1210	11.4	10.89	16.2
2-1	1000	6.6	18.56	9.8
2-2	1100	9.2	13.27	13.1
3-1	1000	6.7	15.71	11.1
3-2	1100	9.1	11.76	13
4-1	1000	6.7	14.42	11.4
4-2	1100	9.2	9.29	16
5-1	1000	5.8	14.25	12.6
5-2	1100	9.3	5.85	20.8

4 試作

試作では、五感で楽しむ遊具をテーマに、陶製テーブルを基盤とした打音遊具の試作品を製作した。

試作品は、テーブル天板に3箇所の開口部を設け、それぞれに木材や金属等の異なる材質の打音体を設置し、打音による音色の差異を楽しめる構造とした。当該試作品の天板は、前述の乾燥工程効率化技術を適用することにより、自然乾燥では約20日以上を要する工程を2日間で完了させ、製作時間の大幅な短縮を実現した。



図5 制作途中(線彫り、穴あけ加工)



図6 大物試作品(陶製打音遊具)



図7 打音遊具使用例

5 まとめ

本研究は、陶器製造業者との意見交換を契機として開始された。試験の結果、乾燥時間については、製品サイズによって差異はあるものの、自然乾燥と比較して1/5から1/10に短縮できることが明らかになった。また、焼成時間の短縮においても、ガラス粉を30%添加し1100℃で焼成した試験体は、1210℃で焼成した無添加の基準素地とほぼ同等の物性値を示した。これらの結果から、作業工程の大幅な時間短縮と燃料消費量削減が期待できる。しかしながら、課題も残されている。急速乾燥は厚手の製品には有効であるが、厚さ1cm以下の薄手製品(皿等)の乾燥においては、変形のリスクが確認された。また、低温焼結用素地については、成形性や加工性の検証、および焼成温度に適合する釉薬の開発など、解決すべき課題があり、今後の試験および検証が必要であると考えられる。

参考

1. 福原 徹 他: 粉碎破廃ガラス入り低温焼成素地の実用化研究、あいち産業科学技術総合センター研究報告、平成26(2014)年度、p52-53
2. 柳沢 文孝 : ガラスと水の反応について、鉱山地質(40)5、平成2(1990)年度、p357-358
3. 黄瀬 栄藏 : 資源生産性向上型低温焼成素地の研究-廃ガラスを利用した低温焼結素地-、滋賀県工業技術総合センター研究報告、平成19(2007)年度、p48-50-